

KÍSÉRLETI AERO-VIBRÓFLUIDIZÁCIÓS GRANULÁLÓ BERENDEZÉS MŰKÖDTETŐ EGYSÉGEINEK FEJLESZTÉSE

FORGÁCS ENDRE és SZABÓ GÁBOR

Élelmiszeripari műveletek és Berendezések Tanszék

ÖSSZEFOGLALÓ

A pillanatoldódó élelmiszerekkel, mint végtermékkel szemben támasztott alapvető követelmények a kiindulási anyaghoz képest jó nedvesedőképesség, süllyedőképesség, diszpergálóképesség és csomósodásmentes gyors oldódás. A tulajdonságok megítélésénél az alapporral történő összehasonlításon van a fő hangsúly. Az említett tulajdonságok szoros kapcsolatban vannak az agglomerátumok fizikai jellemzőivel. A minőségi tulajdonságok ismerete és megbízható pontossággal történő mérése nemcsak az agglomerátumok jellemzése miatt szükséges, hanem fontos a szemcseképződés időbeli változásának / kinetikájának / nyomon követése szempontjából is. A granulálási műveletek összetettsége miatt a folyamatok matematikai leírása bonyolult, ezért nagy jelentőségűek a kísérleti vizsgálatok és az optimális technológia kidolgozásánál a kísérlettervezési módszerek alkalmazása.

A szerzők vizsgálták annak lehetőségét, hogy a jelenlegi kísérleti berendezésük hogyan fejleszthető tovább. Célul tűzték ki szélesebb vizsgálati tartomány biztosítását. Megállapították, hogy hidraulikus vibrációs hajtás alkalmazásával ez a cél elérhető, egyben lehetőséget nyújt az agglomerációs elmélet bővítéséhez.

1. AERO-VIBROFLUIDIZÁCIÓS GRANULÁLÁS ÉLELMISZERIPARI GYAKORLATA

A gyorsan oldódó élelmiszerek előállítási módjai alapvetően három - az egyes technológiai változatokban egymással kapcsolatban levő - csoportba sorolhatók.

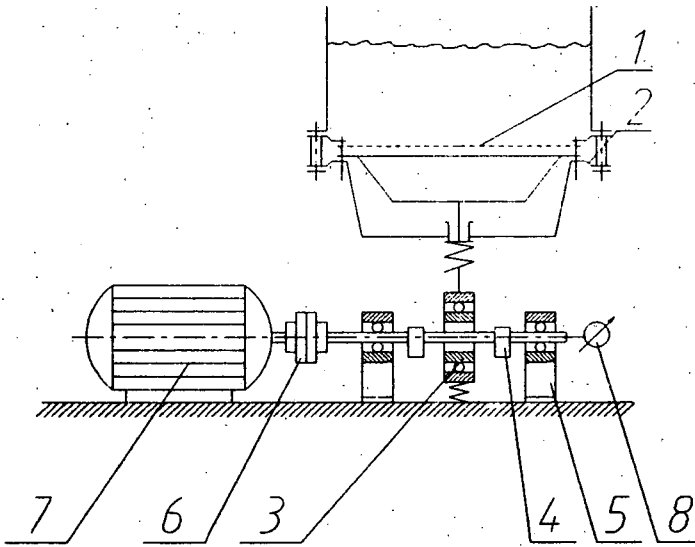
- a/ A terméket alkotó részek fizikai állapotának megváltoztatása és különböző élelmiszer adalékok bekeverése a nedvesedő- és diszpergáló képesség javítására.*
- b/ A pillanatoldódás feltételeinek megfelelő méretű és felépítésű egyedi termékreszcskék előállítása különféle szárítási eljárásokkal.*
- c/ A polidiszperz porszerű termék részecskeméretének és szerkezetének irányított megváltoztatása növesztő / felépítéses / granulálási vagy más néven agglomeráló eljárással.*

Az eljárástechnika egyszerűsége és a kedvező technológiai mutatók miatt az agglomeráló-granuláló eljárás széles körben elterjedt. Az agglomerátum képződés rendkívül bonyolult egymás mellett, illetve után lejátszódó folyamatok eredménye. Az aero-vibrofluid rétegben történő agglomeráló granuláláskor a fluidizációs és vibrációs erőkkel létrehozott véletlenszerű szemcseütköztetés rendszerében beporlasztott nedvesítő folyadék által megnedvesített részecskék összekapcsolódnak az adhéziós, kohéziós, felületi kapilláris és elektrosztatikus erők hatására. Az ilyen elsődleges agglomerátumokhoz hozzátapadnak más részecskék is, ugyanakkor az intenzív mozgás következtében egyes szemcsék lemorzsolódhatnak, majd a széttört részecskék újból visszarakódhatnak az agglomerátumokra. A folyékony fázis megszilárdulása (pl. szárítás) során a részecskék közötti kötőhidak keletkeznek. Az aero-vibrofluid rétegű agglomeráló granuláláskor olyan feldolgozási körülményeket kell létrehozni, amelyek biztosítják a laza, nyílt szerkezetű, kifejtett kapilláris hálózattal, a gyorsan oldódás tulajdonságaival rendelkező agglomerátumok keletkezését. Az aero-vibrofluidizációs granulálási eljárás előnyei a következők lehetnek:

- a keveredési folyamat szabályozható,*
- az intenzív és egyenletes átkeveredés következtében a hő- és anyagátadási viszonyok javíthatók,*
- a granulátum végtermék méretszórása csökkenthető,*
- a mechanikai hatások következtében tömörebb granulátumok kaphatók, melyek szilárdsága nagyobb, oldódási képessége nem kisebb, mint a csak fluidizációs lejárással előállított terrékeké,*
- a fluidizációhoz szükséges levegő felhasználása csökkenthető, energiamegtakarítás érhető el.*

2. AZ AERO-VIBROFLUIDIZÁCIÓT LÉTREHOZÓ BERENDEZÉS

Az aero-vibrofluidizációt létrehozó berendezés kinematikai vázlata az 1. ábrán látható. A kísérleti berendezés Erdész Károly a műsz. tud. kand. tervei alapján készült az Élelmiszeripari Főiskola Élelmiszeripari Műveletek és Berendezések Tanszékén.



1. ábra. Az aerovibrofluidizációt létrehozó berendezéselemek kinematikai vázlata

A fluidizációs kamra alatt a vibrofluidizációs alátét (1) helyezkedik el, melynek szerepe a fluidizációs gázelosztás, valamint a vibrofluidizációs mechanikai energia közvetítése a betöltött rétegnek. A vibrációs alátét és a fluidizációs kamra, valamint a légbevezető (2) elem között rugalmas gumigyűrűk helyezkednek el, melyek megakadályozzák a légszivárgást, s egyben biztosítják az alátét függőleges irányú szabad elmozdulását a levegőmozgás során.

Az alátét vibrációs gerjesztése ebben az esetben pl. harmonikus (színuszos) lengőmozgást megvalósító hajtóművel történik, melynek részei a kulisszás mechanizmus (3), a tehetetlenségi erőket kiegyensúlyozó ellentömegek (4) és a hajtótengely csapágyazása (5).

A kulisszás mechanizmusban az amplitúdóállítás a tengely és a főcsapágytartó gyűrű excentrikus beállításával valósítható meg. A hajtómű főtengelye egy rugalmas tengelykapcsolón (6) keresztül csatlakozik a szabályozható fordulatszámú villanymotorhoz (7), amellyel a lengések körfrekvenciája illetve rezgésszáma állítható be.

Kísérletiileg igazolt, hogy 1,5 - 2 mm-nél nagyobb vagy kisebb amplitúdó nem szükséges. (Ennél kisebb amplitúdó a réteg tömörödését okozza, ennél nagyobb viszont a szemcséket töri össze.)

2.1 Kulisszás és forgattyús hajtási módok

A mozgástörvények tekintetében a szinuszos mozgást biztosító kulisszás hajtómű a legegyszerűbb.

Az r sugarú körpályán keringő forgattyúcsap elmozdulásának vízszintes vetületét viszi át a függőleges csúszóvezetékkel készített kulissza a hajtórúdra, mert a fel-alá csúszkáló kulisszakő csak rúdírányú erőket tud átvinni. A kulissza középsíkjának két szélső helyzetét a forgattyúkör átmérője határozza meg, amely az s lökethosszal egyenlő. Tehát a hajtómű lökethossza a forgattyúsugár kétszerese ($s = 2r$). Igaz, hogy a kulisszás mechanizmus tökéletesen harmonikus szinuszos rezgést hoz létre, de a készülék működési paramétereiből adódó 2,5 mm-es amplitúdó megvalósításához 1,25 mm forgattyús sugáron működő kulisszakövet kell létrehozni. Komoly problémát okoz a kulisszakő forgó és csúszó mozgásához az illesztések meghatározása.

Ezzel szemben a forgattyús mechanizmus a kopási és illesztési hibákat kiküszöböli, hisz a hajtókar csapágyazások ügörgős csapágyakkal történnek. A forgattyús hajtómű mozgásviszonyai azonban nem függetlenek a hajtórúd (l) hosszától. A hajtórúd hosszát a forgattyúsugárhoz viszonyítva megállapítható, hogy minél nagyobb a kettőjük aránya, annál kisebb a fellépő torzulás. A torzulás nem más, mint a tiszta szinuszos lengőmozgástól való eltérés. Ez jelentkezik az elmozdulás, a sebesség és a gyorsulás függvényekben egyaránt. Általánosan elfogadott, hogy a dugattyús gépeknél l/r arány 5, de $l/r = 20$ -nál már elhanyagolható a torzulás. A fentebb leírt kísérleti berendezésen végzett vizsgálatok során megállapítottuk, hogy $l/r = 100$ és így $n = 20$ 1/perces fordulatszámnál a jelentkező maximális torzulás a sebességértéknél $1,44 \times 10^{-3}$ m/s, ami már elhanyagolható (a harmadik felharmonikus már nulla). Ezekkel az adatokkal számított méretek nagy helyigényű berendezést adnak ki, nem is beszélve ipari méretű berendezésről.

2.2 Hidraulikus hajtás alkalmazása

Az előző két mechanizmus hátrányának kiküszöbölésére javasoljuk a hidraulikus hajtómű alkalmazását.

Ilyen berendezés megvalósítására többféle megoldás is kínálkozik, de alapjában véve a mechanikus hajtóművel nehezen versenyeztethető a hidraulikus hajtómű, annak egyszerű szerkezete, így olcsósága miatt. Ami a hidraulikus hajtómű alkalmazását valójában indokolja az, hogy kísérleti berendezésről lévén szó, szükséges lenne a mozgási frekvencia és amplitúdó fokozat nélküli folyamatos, esetleg menetközbeni változtatására, valamint a hajtás jelalakjának változtatására. Ezidáig ugyan is a me-

chanikus hajtás miatt csak a szinuszos jel volt megvalósítható, így a jelalak változásának hatása sem volt vizsgálható.

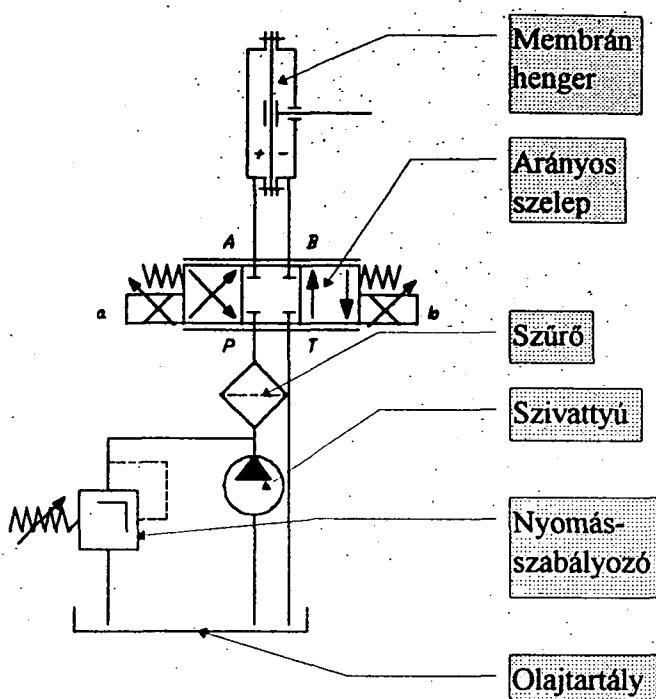
Ez a hatás elméletileg nem határozható meg, ezért a kísérletek elvégzésének nagy a jelentősége. Ilyen irányú vizsgálódás a szakirodalomban nem található, pedig a szinuszos jelalaktól eltérő szabályos, az elektrotechnikában általánosan használt, vizsgálási jelalakoknak (pl. négyszög vagy fűrészfog jel) különböző mértékű, de nagy számú felharmonikus tartalma van. A vibrációs hatás intenzitásának (fajlagos teljesítményének) értéke az $I = A^2 \cdot f^3$ szorzattal arányos. Így külön berendezés nélkül, csupán a jelalak megváltoztatásával, különböző mértékű energiabevitelre nyílik lehetőség. A kísérletek elvégzése pedig alkalmas arra, hogy az idevonatkozó elmélet kidolgozására. Ilyen sokrétű igénynek már csak a hidraulikus hajtás tud megfelelni. A mozgató tömeg és az igényelt mozgató erő tekintetében pneumatikus hajtás is megfelelne, de a pontos jelalak követés által megkövetelt feladatot már nem tudja ellátni. A felsorolt igények indokolják a hidraulikus hajtás választását.

3. A VIBRÁCIÓT LÉTREHOZÓ HIDRAULIKUS HAJTÁS TERVEZÉSE

A közlemény szerzői az elmúlt években számos publikációt jelentettek meg a vizsgált témakörben, a mechanikus rezgéskelítővel felszerelt berendezésről. A kísérletek során megállapították, hogy a széles vizsgálati tartomány igénye alapján a kamra rezgésének amplitúdója $A = 0,2 - 10$ mm, frekvenciája $f = 0 - 60$ 1/s értékek között fokozatmentesen szabályozható kell legyen. A mechanikus hajtású berendezésen végzett kísérletek azt mutatják, hogy $f = 12$ 1/s frekvenciájú rezgésnél nagyobbra nemigen lesz szükség, de a minél szélesebb vizsgálati tartomány lehetőségének fenntartása érdekében fenntartjuk a legnagyobb érték lehetőségét.

A lehetséges megoldások egyike, az elektrotechnikai analógiára alapozva, hidraulikus rezgőkör létrehozása, de akkor a változtatható hidraulikus induktivitás vagy kapacitás megvalósítása bonyolítja, így drágítja a berendezést. Másik megoldás a hidraulikus tengely alkalmazása, de ez a mechanikus rendszer egyszerűségével és olcsóságával nem tud vetekedni és az egyik fő problémára, a változtatható vizsgálati jelalakra, nem ad megoldást. Harmadik lehetőség a fojtásos szabályozás; itt pedig a nagy veszteség, ill. rossz hatásfok okoz problémát.

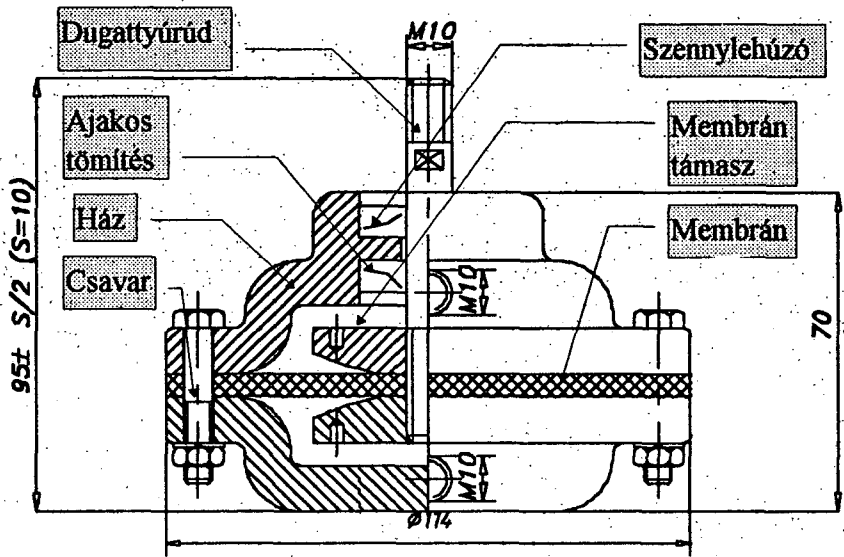
A legegyszerűbben elektronikus vezérlés segítségével állítható elő a szükséges vezérlő jel és a hidraulikus rendszer, mint erősítő működhet. Az elektronikus jel átalakítását hidraulikus jellé egy arányos szelep segítségével lehet megvalósítani. A hidraulikus jelből a munkahenger segítségével lesz mechanikus jel, azaz fizikai mozgás. Az igen kicsi amplitúdó miatt membrán henger választása ill. tervezése a célszerű. A fenti szempontok alapján a következő hidraulikus kapcsolást javasoltuk (2. ábra).



2. ábra A hidraulikus kör elvi kapcsolási rajza

2.1. A hidraulikus rendszer tervezése.

A mozgatott tömeg (termék + mechanizmus) maximális értéke $m = 5 \text{ kg}$. A kamra rezgés amplitúdójának maximuma $A = 10 \text{ mm} = 0,01 \text{ m}$. A kamra rezgés frekvenciájának maximuma $f = 60 \text{ 1/s}$. A kamra legnagyobb gyorsulása $a_k = 36 \text{ m/s}^2$. A hidraulikus rendszer választott nyomása $p = 10^6 \text{ Pa}$. A fenti adatokból kiindulva, erőtani méretezés alapján, hidraulikus membránhengert terveztünk, amelynek összeállítási rajza a 3. ábrán látható.



3. ábra A membránhenger összeállítási rajza

3. A RENDSZER DINAMIKAI JELLEMZŐI

Szükséges megvizsgálnunk, hogy a hidraulikus vibrációs rendszerben nem lép-e föl rezonancia, azaz a lehetséges gerjesztő frekvencia nem esik-e a rendszer sajátfrekvencia tartományába. Így a rezonancia elkerülése érdekében szükséges, hogy a gerjesztés frekvenciája legalább egy „dekáddal” eltérjen a rendszer saját körfrekvenciájától. A rendszer saját körfrekvenciája

$$\omega_s = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{(L_H \cdot C_H)^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

ahol

T a rendszer időállandója

L_H a rendszer hidraulikus induktivitása

C_H a rendszer hidraulikus kapacitása.

3.1. A rendszer hidraulikus induktívitásának és kapacitásának meghatározása

$$L_H = \frac{m_{cs}}{A_{cs}^2} + \frac{m_h}{A_h^2} \quad (2)$$

ahol

m_{cs} a csővezetékben elhelyezkedő folyadék tömege

m_h a membránhengerben elhelyezkedő folyadék tömege + a mozgatott tömeg

A_{cs} a csővezeték belső keresztmetszete

A_h a membránhenger belső keresztmetszete

$$m_{cs} = \rho \cdot V_{cs} = \rho \cdot \frac{d_{cs}^2 \cdot \pi}{4} \cdot l \quad (3)$$

$$m_h = \rho \cdot V_h + m \quad (4)$$

V_h a membránhenger térfogata

$$C_H = C_h + C_{cs} = \frac{V}{E_{ol}} + V_{cs} \cdot \frac{d_{cs}}{s_{cs} \cdot E_{cs}} \quad (5)$$

ahol

C_h a rendszerben mozgatott munkafolyadék hidraulikus kapacitása

C_{cs} a csővezeték hidraulikus kapacitása

V a rendszerben mozgatott munkafolyadék térfogata

E_{ol} a munkafolyadék térfogati rugalmassági modulusa

(A határoló falakat abszolút merevnek tekintve.)

$$E_{ol} = 1,35 \cdot 10^4 \text{ kp/cm}^2 = 1,35 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$$

V_{cs} a csővezeték belső térfogata

d_{cs} a csővezeték belső átmérője $d_{cs} = 0,007 \text{ m}$

s_{cs} a csővezeték falvastagsága $s_{cs} = 1,5 \text{ mm}$

E_{cs} a csővezeték anyagának rugalmassági modulusa

$$E_{cs} = 2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$$

$$C_H = \frac{V}{E_{ol}} + V_{cs} \cdot \frac{d_{cs}}{s_{cs} \cdot E_{cs}} = 1,51638 \cdot 10^{-13} \text{ m}^5/\text{N}$$

3.2. A rendszer dinamikai ellenőrzése

A rendszer időállandója

$$T = (L_H \cdot C_H)^{\frac{1}{2}} = 4,3372 \cdot 10^{-3} \text{ s} \quad (6)$$

Méretezési eljárásunk számításai során

$$L_H = 124053667,9 \text{ kg} / \text{m}^4 \quad C_H = 1,51638 \cdot 10^{-13} \text{ m}^5 / \text{N} \text{ értékeket kaptuk.}$$

Ebből a rendszer saját körfrekvenciája, és a rezonancia frekvencia

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{4,3372 \cdot 10^{-3}} = 1448,673196 \frac{1}{s} \Rightarrow f_1 = \frac{1}{4,3372 \cdot 10^{-3}} = 230,5635 \text{ Hz}$$

$$\omega_1 = 1448,7 \Rightarrow f_1 = 231 \text{ Hz}$$

Az az igény, hogy a gerjesztés frekvenciája legalább egy „dekáddal” el térjen a rendszer saját körfrekvenciájától az azt jelenti, hogy

$$f \leq \frac{f_1}{10} = \frac{231}{10} = 23,1 \text{ Hz} > 12 \text{ Hz}$$

Tehát a kísérletek valószínű legnagyobb gerjesztési frekvenciáján biztonsággal megfelel, mert

$$\frac{f_1}{f} = \frac{231}{12} = 19,25$$

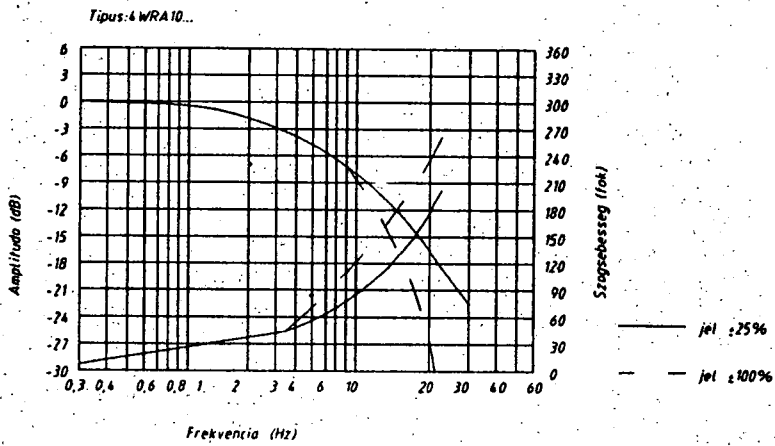
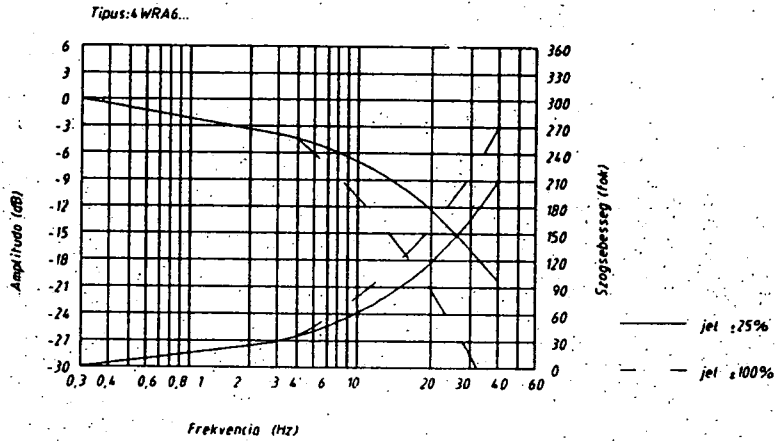
Sőt 23,1 Hz-es gerjesztési frekvencia esetén is teljesül a fenti feltétel.

Az $f = 60 \text{ Hz}$ -es lehetséges legnagyobb vizsgálati frekvencia esetén,

$$\frac{f_1}{f} = \frac{231}{60} = 3,85; \text{ ekkor sem jön létre rezonancia.}$$

Az áramlástechnikai adatok alapján kiválasztott 4 WRA 10 típusú arányos szelep a 4. ábrán látható amplitúdó-fázis diagramjából látszik, hogy 10 Hz alatti frekvencián használható, mert e fölött már a szelep jelkövetése a nagy csillapítás miatt nem biztosítható. Amennyiben a kísérletek azt igazolják, hogy ennél nagyobb frekvencián szükséges üzemeltetni (ennek kicsi a valószínűsége), akkor szervoszelep beépítését javasoljuk, ami a rendszer alapvető változtatását nem teszi szükségessé.

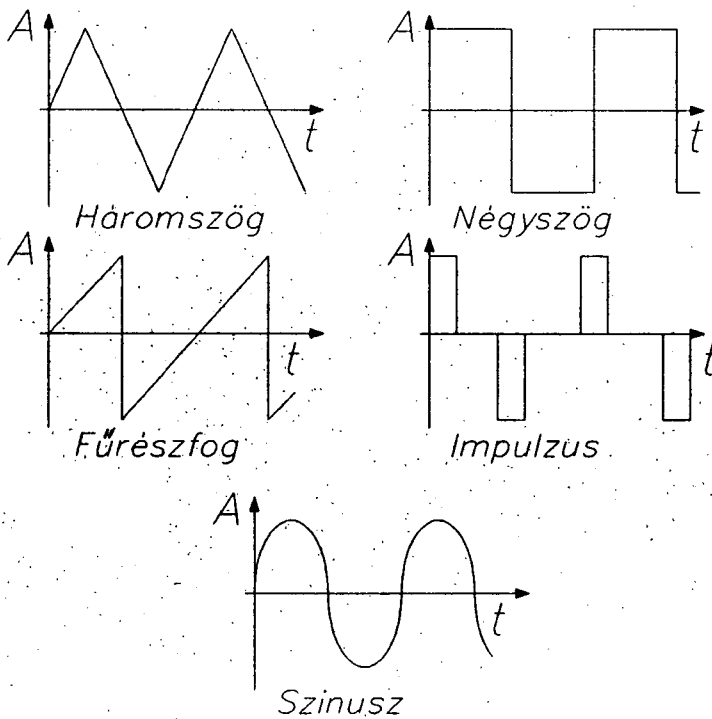
Mindezek alapján a tervezett hidraulikus vibrációs hajtás-rendszer stabilnak tekinthető.



4. ábra 4 WRA 10 típusú arányos szelep amplitúdó - fázis diagramja.

4. TOVÁBBI KUTATÁSI FELADATOK

Irodalmi áttekintés alapján bemutattuk a granulálás jelentőségét elsősorban az élelmiszeripar, de egyéb ipar területén is. Az így feldolgozott termék milyen új és előnyös tulajdonságokat mutat. Bemutattuk a vibrációt létrehozó műszaki megoldásokat, azok előnyét és hátrányát sem hagyva figyelmen kívül. Mindezen ismeretek birtokában megterveztünk egy hidraulikus hajtású rendszert, amely igen széles vizsgálati tartományra képes mind a vibrációs frekvencia és amplitúdó, mind a rezgési jelalak területén. Mint már említettük az 5. ábrán látható jellegzetes vizsgálati jelalakokat elektronikus vezérlésnek kell létrehoznia, amelynek tervezése az egyik következő feladat.

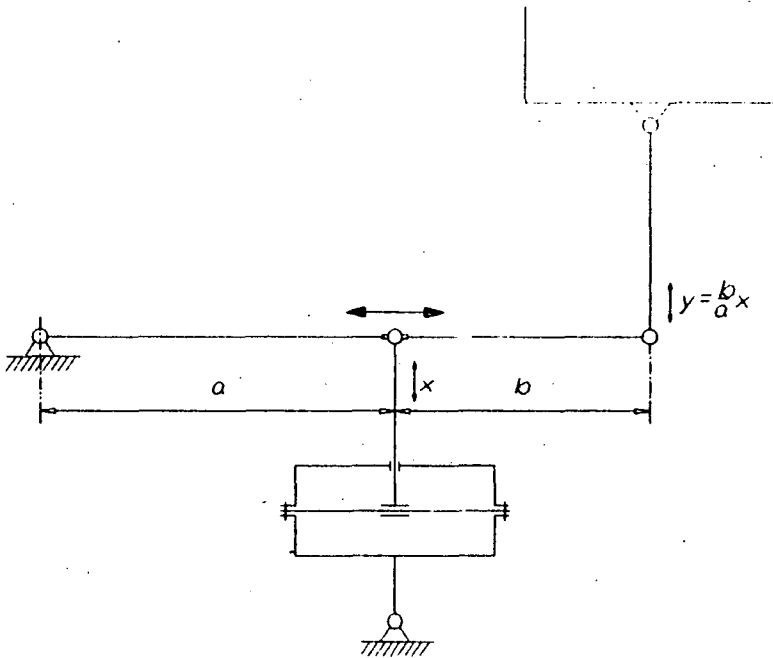


5. ábra Különböző vizsgálati jelalakok.

A vibrációs hajtásrendszer tervezésekor igyekeztünk egyszerű kompromisszumokat kötni, a kísérleti berendezés esetén is feltétlenül figyelembe veendő gazdaságossági szempontokra tekintve.

A vibrációt létrehozó munkahengert, az igen kis lökethossz (amplitúdó) miatt, nem választhattuk a széles körben használatos dugattyús munkahengerek közül. Így egy hidraulikus membránhengert terveztünk.

Mivel a tervezett hajtásrendszerben nagy nyomástartalékok vannak a 6. ábrán látható elrendezéssel szükség esetén egyszerűen megoldható a nagyobb amplitúdó igény biztosítása.



6. ábra. Erősokszorozó karos mechanizmus

A kísérletek elvégzése dönti majd el e szerkezet megtervezésének szükségességét. A hidraulikus hajtóműves aero-vibrofluidizációs granuláló berendezéssel elvégzendő kísérletek lehetőséget adnak az agglomerációs elmélet bővítéséhez.

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Forgács E. (1993): Kísérleti aero-vibrofluidizációs granuláló berendezés működtező egységeinek tervezése. Miskolci Egyetem Szakmérnöki diplomamunka, Miskolc.

2. Erdész K. (1984): *Vibrációs technika az élelmiszeriparban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.*
3. Blickle T. (1963): *A fluidizációs eljárás készülékei, alkalmazási és számításai. Akadémia Kiadó, Budapest.*
4. Pattantyús Á. (1983): *A gépek üzemtana. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.*
5. Obádovics J.Gy. (1978): *Matematika. Műszaki könyvkiadó, Budapest.*
6. Vincze Á. (1983): *Hidraulikai és pneumatikai táblázatok. Műszaki könyvkiadó, Budapest.*
7. Horváth E. (1987): *Gépek szerkezetana. Gépelem -géptan gyakorlati példatár II. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem jegyzet, Budapest.*
8. Herczeg I. (1976): *Szerkesztési atlasz. Műszaki könyvkiadó. Budapest.*
9. könyvkiadó, Budapest.
10. Sárközi Z. (1977): *Műszaki táblázatok és képletek. Műszaki könyvkiadó, Budapest.*
11. Szabó G. (1982): *Tartósiított élelmiszerek aero-vibrofluid rétegű instantizálása. Kertészeti Egyetem, Egyetemi doktori értekezés. Budapest, 1982.*

DEVELOPMENT OF THE OPERATING UNITS OF THE EXPERIMENTAL AERO-VIBROFLUIDIZATIONAL GRANULATING EQUIPMENT

E. FORGÁCS and G. SZABÓ

*University of Horticulture and Food Industry
College of Food Industry
H-6701 Szeged, P.O. Box 433*

ABSTRACT

The fundamental requirements of instant food products as final products are a good ability to moisten, sink, disperse and dissolve quickly without becoming lumpy as compared to the starting material. In the judgement of the characteristics the main emphasis is on the comparison to the basic powder. The above mentioned characteristics are closely connected to the physical features of the agglomerates. The knowledge of the qualitative characteristics and their reliable and exact measurements are necessary not only for the description of the agglomerates but also for observing the changes in the formation of granules in time (kinetics). Due to the complexity of the operations of granulation, the mathematical description of the processes are complicated, therefore the experimental tests are of great importance and so are the application of test planning methods during the development of the optimal technology.

The authors have examined the possibility how their present experimental equipment could be improved. The objective was to ensure a wider experimental range. They stated that by virtue of the application of hydraulic drive this objective can be realised and at the same time it makes possible the extension of the agglomerational theory.